

Efecto de la irradiancia y temperatura sobre esporofitos de *Chondracanthus chamissoi*

Effect of irradiance and temperature on *Chondracanthus chamissoi* sporophytes

Luis Rios-Cruz¹, Paul Baltazar-Guerrero^{1,2*}, Max Castañeda-Franco^{1,2} y Samuel Arbaiza-Quispe^{1,2}

¹Carrera de Biología Marina, Facultad de Ciencias Veterinarias y Biológicas, Universidad Científica del Sur, Lima 15067, Perú.

²Grupo de Investigación en Acuicultura Sostenible (GIAS), Laboratorio de Investigación en Cultivos Marinos (LICMA), Dirección General de Investigación, Desarrollo e Innovación, Universidad Científica del Sur, Lima 15067, Perú

*Autor corresponsal: pbaltazar@cientifica.edu.pe

Abstract. *Chondracanthus chamissoi*, commonly known as “yuyo” or “sea chicory”, has acquired great economic importance in recent years due to its potential as an aquaculture resource in Peru and Chile. For this reason, it is necessary to know the factors that affect its cultivation. With the aim of determining the effect of irradiance and temperature on the settlement and growth of *C. chamissoi* sporophytes, newly released carpospores were subjected to two levels of irradiance (35 and 70 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) and three temperatures (18, 20 and 22 °C) for 6 weeks. The number of settled carpospores was quantified 7 days after the start of inoculation and microthalli formed were measured from day 22. Results showed that the highest settlement occurred at 35 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and 22 °C, with 209.33 ± 24.58 sporophytes per cm^2 . The lowest densities were obtained in the treatments of 18 and 20 °C at 35 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, with 74.7 ± 45.5 and 57.0 ± 37.6 sporophytes per cm^2 , respectively. The highest specific growth rate (SGR) was achieved at 70 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (18 °C), with 8.3% d^{-1} , followed by 70 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (22 °C), 70 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (20 °C) with 8.2 and 8.1% d^{-1} , respectively. In conclusion, sporophytes of *C. chamissoi* can develop at a higher speed at an irradiance of 70 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, considering that increasing the temperature can generate a decrease in the growth rate.

Key words: *Chondracanthus chamissoi*, irradiance, settlement, sporophytes, temperature

Resumen. La macroalga *Chondracanthus chamissoi*, conocida comúnmente como “yuyo” o “chicorea de mar”, ha adquirido una gran importancia económica en los últimos años debido a su potencial como recurso acuícola en Perú y Chile. Por esta razón, es necesario conocer los factores que afectan su cultivo. Con el objetivo de determinar el efecto de la irradiancia y la temperatura sobre el asentamiento y crecimiento de esporofitos de *C. chamissoi*, se sometieron carposporas recién liberadas a dos niveles de irradiancia (35 y 70 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y tres temperaturas (18, 20 y 22 °C) durante 6 semanas. Se cuantificó el número de carposporas asentadas a los 7 días de iniciada la inoculación y se midieron los microtalos formados a partir del día 22. Los resultados mostraron que el mayor asentamiento fue a 35 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y 22 °C, con $209,33 \pm 24,58$ esporofitos por cm^2 . Las menores densidades se obtuvieron en los tratamientos de 18 y 20 °C a 35 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, con $74,7 \pm 45,5$ y $57,0 \pm 37,6$ esporofitos por cm^2 , respectivamente. La mayor tasa de crecimiento específico (TCE) se logró a 70 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (18 °C), con 8,3% d^{-1} , seguida de 70 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (22 °C), y 70 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (20 °C) con 8,2 y 8,1% d^{-1} , respectivamente. En conclusión, los esporofitos de *C. chamissoi* se pueden desarrollar a mayor velocidad a una irradiancia de 70 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, teniendo en cuenta que al aumentar la temperatura se puede generar una disminución en la tasa de crecimiento.

Palabras clave: *Chondracanthus chamissoi*, irradiancia, asentamiento, esporofitos, temperatura

INTRODUCCIÓN

Chondracanthus chamissoi (C. Agardh) Kützting es una macroalga perteneciente a la familia Gigartinales y conocida por ser carragenófita. En el Pacífico Sur, se distribuye desde Paita, Perú (5°S) hasta Ancud en Chile (42°S) (Acleto 1986). Sin embargo, también se ha reportado su presencia en otras partes del mundo, como en Corea y Japón (Yang *et al.* 2015), Francia (Burel *et al.* 2019), Golfo de California (Norris *et al.* 2017), México (Pedroche & Senties 2020) y en el océano Índico en isla La Reunión (Silva *et al.* 1996). Generalmente esta macroalga habita sobre sustratos duros, tales como rocas y conchuelas ubicadas en la zona intermareal o submareal

(Riofrío 2003, Calderón *et al.* 2011). Esta especie, presenta un ciclo de vida trifásico con alternancia de generación isomórfica, donde la fase gametofítica (sexual haploide) es dioica; es decir se encuentran organismos masculinos y femeninos. Posterior a la fecundación, sobre el gametofito femenino se da la formación del cistocarpo o también llamado carposporofito (diploide). Dentro de los cistocarpos se generan carposporas las cuales, al ser liberadas, se asientan y posteriormente germinan en la fase diploide esporofítica. Finalmente, esta última fase genera tetrasporas y las libera a través de los soros tetrasporangiales maduros; las cuales al germinar dan lugar a organismos gametofíticos, completando así el ciclo de vida (Acleto 1986, Avila *et al.* 2011).



De acuerdo con PRODUCE (2021), la cantidad de algas desembarcadas en el Perú ha experimentado un incremento significativo en los últimos años. En 2013, el desembarque de algas alcanzó las 22.189 toneladas métricas en peso fresco (TM), mientras que para el 2021 esta cifra se elevó a 50.486 TM. El interés comercial de *C. chamosoi* se debe a las propiedades obtenidas de los ficocoloides, tales como el λ -carragenano y el k-carragenano (Salas *et al.* 2008). El costo por tonelada seca en el Perú de esta macroalga para el 2007 fue de US\$ 440 y en el 2014 fue de US\$ 840 (Rebours *et al.* 2014). Este incremento de los volúmenes de producción y precios está estrechamente relacionado con el mayor empleo en la industria farmacéutica, cosmética y gastronómica (Hayashi *et al.* 2014, Berger 2020, Bermejo *et al.* 2020, FAO 2020). En este contexto se genera un impacto negativo sobre las praderas naturales de dicha especie (Vásquez & Vega 2001, Flores *et al.* 2015), que es posible agravar con el cambio climático y la mayor ocurrencia del evento “El Niño” (Tarazona *et al.* 1999, Alvarez & Vodden 2009, Wernberg *et al.* 2010); motivos por los cuales es imprescindible generar estrategias de manejo de praderas, repoblamiento y mejoras en las técnicas de cultivo de esta macroalga para que resulte viable económicamente.

La reproducción vía esporas en el cultivo de algas marinas permite obtener una alta producción de organismos con una reducida cantidad de individuos reproductivamente maduros; esto se debe a que el uso de soluciones concentradas de esporas mejora la manejabilidad e inoculación de sustratos artificiales, los cuales son útiles en el cultivo en campo (Pacheco-Ruiz *et al.* 1989, Castañeda *et al.* 2018). El asentamiento, germinación y crecimiento de las esporas son etapas cruciales en el establecimiento y desarrollo del primer disco de fijación sobre el sustrato (Fletcher & Callow 1992, Agrawal 2009). El desarrollo en estas primeras etapas se encuentra influenciado por diversos factores; siendo uno de ellos la disponibilidad de luz, relacionada directamente con la actividad fotosintética, la cual puede potenciar o inhibir el crecimiento según su cantidad (Miranda *et al.* 2012, Yu *et al.* 2013, Zhao *et al.* 2014). Adicionalmente, la temperatura es un factor importante en las tasas de crecimiento de *C. chamosoi*, siendo mayores con el incremento de la temperatura (Tarazona *et al.* 1999, Bulboa & Macchiavello 2001, Bulboa *et al.* 2010, Avila *et al.* 2011, Zhao *et al.* 2014).

Por lo anterior, el objetivo fue determinar el efecto de la irradiancia y temperatura sobre el asentamiento y crecimiento de esporofitos de *C. chamosoi*, en condiciones semicontroladas de cultivo con la finalidad de determinar a qué irradiancia y temperatura se obtienen mejores asentamientos en cuerdas inoculadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

OBTENCIÓN DE LA MUESTRA E INDUCCIÓN A LA ESPORULACIÓN

La Cooperativa de Trabajadores Pesqueros y Artesanales Algas Marinas (COTRAPALMAR) realizó la extracción manual (buceo autónomo; 5 m de profundidad) de 2,5 kg de *C. chamosoi* procedentes de Playa La Puntilla (13°48'29,2"S; 76°14'58,9"O) en el distrito de Paracas, provincia de Pisco, Perú. El material colectado, fue trasladado al Laboratorio de Investigación de Cultivos Marinos (LICMA, Universidad Científica del Sur - Sede Pisco, Perú) en una caja térmica a 10 °C, con la finalidad de evitar la esporulación. Una vez en el laboratorio, se procedió a seleccionar individuos reproductivamente maduros de la fase carposporofítica (con presencia de cistocarpos). Se llevó a cabo la extracción manual de los macro-epibiontes presentes en las algas, y para los micro-epibiontes se utilizó un proceso de desinfección con hipoclorito de sodio al 1%. A continuación, las algas fueron enjuagadas con agua dulce para inducir un cambio osmótico, con el propósito de reducir la presencia de microorganismos y esporas de otras macroalgas. Posteriormente, las frondas completas se estresaron por desecación durante 6 h, induciendo la esporulación de acuerdo al protocolo descrito por Agrawal (2012). Transcurrido ese tiempo, las algas fueron colocadas en matraces con agua de mar (filtrada mediante una membrana de celulosa de 0,22 μ m) y abundante aireación. Las algas esporularon a una densidad de 150 g de alga reproductiva por litro, obteniéndose una densidad de $1,96 \times 10^4$ carposporas mL⁻¹.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Se evaluó el efecto de la irradiancia (35 y 70 μ mol m⁻²s⁻¹) y la temperatura (18, 20 y 22 °C) de forma combinada sobre el asentamiento y crecimiento de carposporas de *C. chamosoi*. La irradiancia fue otorgada empleando una luminaria fluorescente y regulada la altura manualmente sobre las unidades experimentales utilizando un luxómetro EZODO DL-204 (Taiwán), mientras que las temperaturas fueron mantenidas con el uso de termostatos. El fotoperiodo fue de 12h: 12h (luz: oscuridad), el periodo experimental tuvo una duración de 43 días y cada tratamiento contó con tres repeticiones independientes.

Las unidades experimentales consistieron en recipientes de 1 L de capacidad, donde se mezcló 250 mL de la solución de carposporas antes mencionada con 550 mL de agua de mar (salinidad= 37; pH= 8,2; desinfectada con hipoclorito de sodio al 0,1% siguiendo el protocolo propuesto por Kawachi & Noël (2005) y filtrada hasta 0,22 µm). En la base de dicho recipiente se colocaron pequeños bastidores con cuerdas de nylon (como sustrato) obteniendo un área total de 6 cm² de sustrato disponible para el asentamiento de las carposporas.

PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y BIOLÓGICOS

Se realizaron mediciones diarias en las unidades experimentales de los parámetros fisicoquímicos como temperatura, pH, salinidad con el multiparámetro YSI Profesional plus (EE. UU.); así mismo se realizaron los ajustes correspondientes de salinidad, agregando agua destilada, con la finalidad de evitar el estrés osmótico. Se añadió el fertilizante comercial Bayfolan® al 0,1% como medio de cultivo (Castañeda *et al.* 2018) y se realizaron recambios de agua del 100% cada siete días. La biometría se realizó semanalmente evaluando la cantidad de carposporas asentadas en los bastidores utilizando el microscopio Leica® DM500 (Alemania), mientras que la medición del crecimiento del talo se realizó con el estereoscopio Leica® EZ4 E (Alemania). No se evaluó el asentamiento en el día 0 para evitar el estrés y desprendimiento de las carposporas del sustrato. El diámetro inicial de las carposporas en la solución fue de 10,9 ± 0,3 µm.

Con la finalidad de registrar información estadística relacionada a la cantidad de carposporas dentro del área de asentamiento; se tomaron fotografías y se utilizó el programa asociado al estereoscopio en mención LAS EZ 3.4.0 (Leica Microsystems, Alemania); se seleccionaron áreas de 1 cm² aleatoriamente dentro de los bastidores, para ello se utilizó una lámina milimétrica como referencia. Finalmente, para medir la tasa de crecimiento específico (TCE), se utilizó la fórmula propuesta por Orduña-Rojas & Robledo (1999) multiplicado por 100 para obtener el valor en porcentual:

$$TCE(\%) = \left(\ln \left(\frac{L_2}{L_1} \right) \times t^{-1} \right) \times 100$$

dónde, L₁ es la longitud inicial y L₂ la longitud en el tiempo t.

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Se realizó la prueba de Shapiro-Wilk con el fin de determinar la normalidad de los datos, así como la prueba de homocedasticidad de Bartlett; siendo la primera no significativa y la segunda determinando heterocedasticidad en los datos, por lo que se optó por la prueba no paramétrica de Scheirer-Ray-Hare (SRH) (Scheirer *et al.* 1976) cuando los tratamientos mostraron diferencias significativas.

RESULTADOS

ASENTAMIENTO

La Tabla 1 muestra la influencia significativa de la interacción entre los factores temperatura e irradiancia sobre el número de esporofitos asentados. Se puede observar que existe una mayor ocurrencia de esporofitos en la temperatura a 22 °C, donde la irradiancia de 35 µmol m⁻²s⁻¹ influye en una mayor ocurrencia de esporofitos que a 70 µmol m⁻²s⁻¹ (Fig. 1). En términos del número total de esporofitos fijados por cm², se registraron los valores más altos en el tratamiento de 35 µmol m⁻²s⁻¹ (22 °C), con un valor de 193,0 ± 21,1 ind. cm⁻², y en el tratamiento de 70 µmol m⁻²s⁻¹ (20 °C), con un valor de 209,3 ± 24,6 ind. cm⁻². Por otro lado, se observó la menor cantidad de esporofitos en el tratamiento de 35 µmol m⁻²s⁻¹ (20 °C), con un valor de 57,0 ± 37,6 ind. cm⁻² (Tabla 2). Es importante mencionar que las temperaturas variaron en cada tratamiento, siendo de 18,0 ± 0,7 °C, 20,0 ± 0,7 °C y 22,0 ± 0,3 °C, respectivamente, y los niveles de luz fueron de 35,0 ± 0,5 µmol m⁻²s⁻¹ y 70,0 ± 0,6 µmol m⁻²s⁻¹.

Tabla 1. Nivel de significancia de la prueba no paramétrica SHR sobre el número de esporofitos asentados y tasa de crecimiento de acuerdo con los niveles de irradiancia y temperatura / Significance level of the non-parametric SHR test on the number of settled sporophytes according to irradiance and temperature levels

Factor	Grados de libertad	Asentamiento <i>P</i>	Tasa de crecimiento <i>P</i>
Irradiancia	1	0,2	0,0
Temperatura	2	0,2	0,5
Irradiancia / Temperatura	2	0,01	0,3

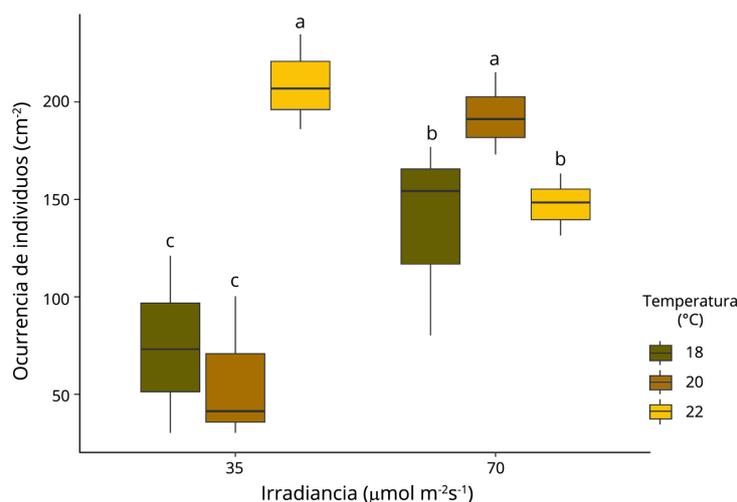


Figura 1. Promedio de esporofitos asentados al final del periodo experimental de acuerdo con los niveles de irradiancia y temperatura. Letras diferentes indican diferencias significativas / Average of sporophytes settled at the end of the experimental period according to irradiance and temperature levels. Different letters indicate significant differences

Tabla 2. Densidad de esporofitos (DTG) de *C. chamissoi* por cm² en el día 36 de cultivo, bajo condiciones controladas, expresadas en promedio ± desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas / Sporophyte density (DTG) of *C. chamissoi* per cm² on day 36 of culture, under controlled conditions, expressed as mean ± standard deviation. Different letters indicate significant differences

Irradiancia (µmol m⁻²s⁻¹)	Temperatura (°C)	DTG (ind. cm⁻²)
35	18	74,7 ± 45,5 ^c
	20	57,0 ± 37,6 ^c
	22	209,3 ± 24,6 ^a
70	18	137,0 ± 50,7 ^b
	20	193,0 ± 21,1 ^a
	22	147,3 ± 16,0 ^b

*Letras diferentes indican diferencias significativas

Tabla 3. Agrupamiento de la prueba de comparación de pares por longitud promedio y tasa de crecimiento específica (TCE) de esporofitos de acuerdo con los niveles de irradiancia y temperatura / Pairwise comparison test grouping by average length and specific growth rate (TCE) of sporophytes according to irradiance and temperature levels

Irradiancia (µmol m⁻²s⁻¹)	Temperatura (°C)	Longitud* (µm)	TCE (%)
70	18	396,7 ^a	8,3
70	22	356,6 ^a	8,2
70	20	336,3 ^{ab}	8,1
35	22	292,8 ^{bc}	7,6
35	20	251,5 ^{cd}	7,2
35	18	235,6 ^d	7,1

*Letras diferentes indican diferencias significativas

CRECIMIENTO DE LOS ESPOROFITOS

Los resultados indican que la irradiancia ejerce un efecto significativo sobre el crecimiento de los microtalos de *C. chamissoi* (Tabla 1). Por otra parte, como se evidencia en la Tabla 3, las mayores longitudes y valores de TCE de los microtalos fueron obtenidos a 70 µmol m⁻²s⁻¹ obteniendo un promedio de 8,3, 8,2 y 8,1% para los tratamientos de 18, 22 y 20 °C, respectivamente, considerando de la Tabla 1 el valor no significativo para el factor temperatura. Cabe destacar que se observó una alta incidencia de epífitos (Fig. 2) a 70 µmol m⁻²s⁻¹, sin embargo, no fue una variable considerada en el objetivo del estudio.

DISCUSIÓN

La determinación del método de cultivo en algas parte de las estrategias reproductivas que estas poseen, las cuales difieren según la especie (Braga 1990, Avila *et al.* 2011, Calderón *et al.* 2011, Bulboa *et al.* 2013, Bermejo *et al.* 2019). Por otro lado, las mediciones de parámetros biométricos sobre las carposporas, como el asentamiento, supervivencia, crecimiento, entre otros clarifican el potencial uso del ciclo de vida de la macroalga para realizar su cultivo (Choi *et al.* 2006, Bulboa *et al.* 2010, Pacheco-Ruíz *et al.* 2011, Rafik 2016, Yeh *et al.* 2019).

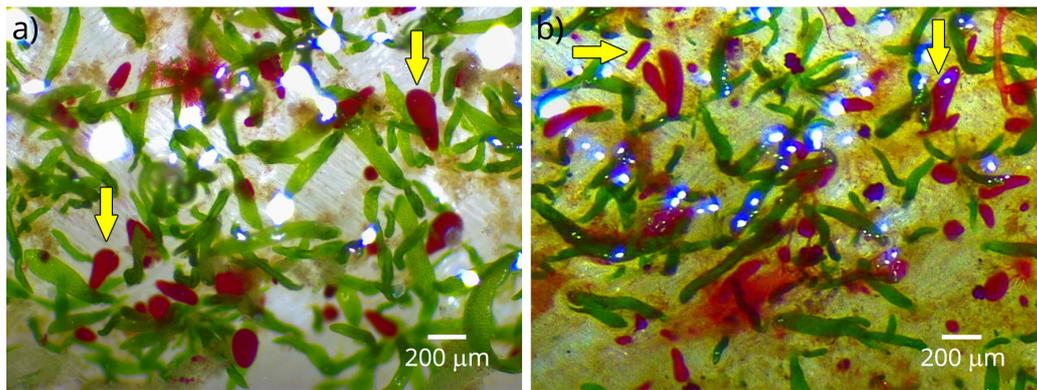


Figura 2. Esporofitos de 43 días de desarrollo correspondientes a los tratamientos: a) 35 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (22 °C) y b) 70 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (20 °C), flechas amarillas destacan esporofitos. Autor de las fotografías: Luis Ríos / Sporophytes of 43 days of development corresponding to treatments: a) 35 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (22 °C) and b) 70 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (20 °C), yellow arrows highlight sporophytes. Author of the photographs: Luis Ríos

Los resultados de asentamiento demuestran una mayor cantidad de esporofitos encontrados a condiciones de 70 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ($193,0 \pm 21,1$ ind. cm^{-2}), sin embargo, a 22 °C se evidencia un decaimiento propio del éxito de desarrollo de las carposporas (Tabla 2), influenciadas por la interacción de los factores (Tabla 1) (Maggs & Callow 2003, Agrawal 2009). Gonzalez & Meneses (1996) determinaron un mejor rendimiento en el asentamiento de carposporas de *C. chamissoi* en condiciones de 60 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y 20 °C, lo cual concuerda con los presentes resultados, encontrándose en la irradiancia de 70 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ la mayor cantidad de esporofitos a 20 °C.

Diversos factores influyen en el asentamiento de las carposporas, entre las que podemos indicar la naturaleza del sustrato, las interacciones bióticas; así como la presencia de películas bacterianas que alteran las propiedades fisicoquímicas y topográficas del sustrato (Hughes *et al.* 2018); ya que pueden inhibir o reducir el asentamiento de las carposporas (Arbaiza *et al.* 2019) y el desarrollo óptimo del disco de fijación, el cual es esencial para la supervivencia del alga (Pacheco-Ruíz *et al.* 2005, Aihua *et al.* 2006). Es así como se observó que diversos esporofitos no se pudieron asentar y se desarrollaron sin adherirse al sustrato (Fig. 2), por lo que esta peculiaridad no afecta el crecimiento del alga, pese a no estar fijada, pues esta sigue desarrollándose normalmente, así mismo la presencia de primordios aseguran una futura fijación (Barrientos & Otaíza 2014).

Los resultados sugieren que la menor ocurrencia de esporofitos a 70 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (22 °C) (Fig. 1) se debió principalmente a la competencia por espacio en el sustrato con *Ulva* sp. (Fig. 2), tal como menciona Bulboa *et al.* (2007) que los zooides de *Ulva* sp. se encuentran adheridos a los talos de *C. chamissoi* y con mayor incidencia en gametofitos; también observadas en el trabajo de Castañeda *et al.* (2018), por lo que el vector se encuentra principalmente en la preparación de la solución de carposporas.

El efecto causado por los factores ambientales sobre el crecimiento de esporofitos de *C. chamissoi* ha sido reportado por Bulboa *et al.* (2010), quienes determinaron una TCE de $9,3 \pm 0,2\%$ d^{-1} para individuos procedentes de la localidad de Lechagua, Chile, en primavera, donde las condiciones de trabajo fueron 15 °C y 60 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. En el presente trabajo el mayor valor de TCE es de 8,3% con una intensidad lumínica de 70 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (18 °C), esta similitud en valores altos de TCE, indicarían que las condiciones óptimas de cultivo para *C. chamissoi* se encuentran alrededor de los 15-20 °C (70 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$).

De igual manera con *Chondrus ocellatus*, especie perteneciente a la misma familia de *C. chamissoi* (Gigartinaceae), se observó que el rango óptimo de condiciones de cultivo sigue la misma tendencia entre 20 °C a 60 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Li *et al.* 2010). Resultados similares se reportan para esporofitos juveniles de *Chondracanthus squarulosus*, la mejor tasa de supervivencia en condiciones de irradiancia de 75 y 105 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y temperatura entre 22 y 18 °C (Pacheco-Ruíz *et al.* 2011), concordando con lo mencionado en el párrafo anterior.

La determinación del método de cultivo en algas depende de las estrategias reproductivas de cada especie y de la medición de parámetros biométricos como el asentamiento, la supervivencia y el crecimiento de las carposporas, lo que permite conocer el potencial de uso del ciclo de vida de la macroalga para su cultivo (Agrawal 2012). Diversos factores, como la naturaleza del sustrato y las interacciones bióticas, pueden afectar el asentamiento de las carposporas. Los resultados sugieren que la menor ocurrencia de esporofitos a 70 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y 22 °C se debió a la competencia por espacio con otra alga llamada *Ulva* sp. (Bulboa *et al.* 2007, Luo *et al.* 2012). Los factores ambientales también afectaron el crecimiento de esporofitos de *C. chamissoi*, con una mayor TCE a 70 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y 18 °C. Los resultados de este estudio proporcionan información importante sobre las condiciones óptimas de cultivo de *C. chamissoi* y pueden ser útiles para mejorar su producción en la acuicultura.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por el Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico e Innovación (ProInnovate), Convenio N° 234-INNOVATEPERU-IAPIP-2017 “Desarrollo de un programa de producción de semilla y cultivo de *Chondracanthus chamissoi* “yuyo” en la Bahía de Paracas, Pisco”, y la Universidad Científica del Sur (UCSUR N° 060-2022-PRO99). Los autores agradecen a Felipe Abraham Sáez Rubio por la revisión, sus comentarios y sugerencias al manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Acleto C. 1986.** Algunos aspectos biológicos de *Gigartina chamissoi* (C. Ag.) J. Agardh (Rhodophyta, Gigartinales). Revista de Ciencias, Universidad Nacional Mayor de San Marcos 74(1): 38-47.
- Agrawal SC. 2009.** Factors affecting spore germination in algae - review. Folia Microbiologica 54(4): 273-302.
- Agrawal SC. 2012.** Factors controlling induction of reproduction in algae-review: The text. Folia Microbiologica 57: 387-407.
- Aihua W, W Jicheng & D Delin. 2006.** Early development of *Chondrus ocellatus* holm (Gigartinales, Rhodophyta). Chinese Journal of Oceanology and Limnology 24: 129-133.
- Alvarez JC & K Vodden. 2009.** Local ecological knowledge and the impacts of global climatic change on the community of seaweed extractors in Pisco-Perú. In: PICMET '09 - 2009 Portland International Conference on Management of Engineering & Technology, Portland, pp. 1025-1032. <doi: 10.1109/PICMET.2009.5262030>
- Arbaiza S, P Gil-Kadoka, N Arakaki & K Alveal. 2019.** Primeros estadios de cultivo a partir de carposporas de *Chondracanthus chamissoi* de tres localidades de la costa peruana. Revista de Biología Marina y Oceanografía 54(2): 198-207.
- Avila M, MI Piel, JH Cáceres & K Alveal. 2011.** Cultivation of the red alga *Chondracanthus chamissoi*: sexual reproduction and seedling production in culture under controlled conditions. Journal of Applied Phycology 23: 529-536.
- Barrientos E & DR Otaíza. 2014.** Juveniles generados a partir de esporas no asentadas de *Chondracanthus chamissoi* (Rhodophyta, Gigartinales) presentan capacidad de adhesión al sustrato. Revista de Biología Marina y Oceanografía 49(1): 135-140.
- Berger C. 2020.** La acuicultura y sus oportunidades para lograr el desarrollo sostenible en el Perú. South Sustainability 1(1): e003. <doi: 10.21142/SS-0101-2020-003>
- Bermejo R, M Macías, CL Cara, J Sánchez-García & I Hernández. 2019.** Culture of *Chondracanthus teedei* and *Gracilariopsis longissima* in a traditional salina from southern Spain. Journal of Applied Phycology 31: 561-573.
- Bermejo R, M Macías, S Sanchez-García, R Love, E Varela-Alvarez & A Hernandez. 2020.** Influence of irradiance, dissolved nutrients and salinity on the colour and nutritional characteristics of *Gracilariopsis longissima* (Rhodophyta). Algal Research 52: 102121. <doi: 10.1016/j.algal.2020.102121>
- Braga MR. 1990.** Reproductive characteristics of *Gigartina teedii* (Roth) Lamouroux (Rhodophyta, Gigartinales), a turf-forming species: Field and laboratory culture studies. Botanica Marina 33: 401-410.
- Bulboa C & J Macchiavello. 2001.** The effects of light and temperature on different phases of the life cycle in the carrageenan producing alga *Chondracanthus chamissoi* (Rhodophyta, Gigartinales). Botanica Marina 44: 371-374.
- Bulboa C, JE Macchiavello, K Veliz, E Macaya & E Oliveira. 2007.** *In vitro* recruitment of *Ulva* sp. and *Enteromorpha* sp. on gametophytic and tetrasporophytic thalli of four populations of *Chondracanthus chamissoi* from Chile. Journal of Applied Phycology 19: 247-254.
- Bulboa C, J Macchiavello, K Véliz & EC Oliveira. 2010.** Germination rate and sporeling development of *Chondracanthus chamissoi* (Rhodophyta, Gigartinales) varies along a latitudinal gradient on the coast of Chile. Aquatic Botany 92: 137-141.
- Bulboa C, K Véliz, F Sáez, C Sepúlveda, L Vega & J Macchiavello. 2013.** A new method for cultivation of the carrageenophyte and edible red seaweed *Chondracanthus chamissoi* based on secondary attachment disc: Development in outdoor tanks. Aquaculture 410/411: 86-94.
- Burel T, M Le Duff & EA Gall. 2019.** Updated check-list of the seaweeds of the French coasts, Channel and Atlantic Ocean. An Aod - Les Cahiers Naturalistes de l'Observatoire Marin 7(1): 1-38.
- Calderón M, ME Ramírez & D Bustamante. 2011.** Notas sobre tres especies de Gigartinales (Rhodophyta) del litoral peruano. Revista Peruana de Biología 17: 115-121.
- Castañeda M, S Arbaiza, F Diaz, Y Castillo, P Baltazar & O Advíncula. 2018.** Evaluación del fotoperiodo en el asentamiento de tetrasporas de *Chondracanthus chamissoi* sobre cuerdas de polipropileno en condiciones semi-controladas de laboratorio. Anales Científicos 79: 459-465.
- Choi HG, YS Kim, JH Kim, S Lee, E Park, E Ryu & K Nam. 2006.** Effects of temperature and salinity on the growth of *Gracilaria verrucosa* and *G. chorda*, with the potential for mariculture in Korea. Journal of Applied Phycology 18: 269-277.
- FAO. 2020.** The state of world fisheries and aquaculture 2020. Sustainability in action, 206 pp. FAO, Rome.
- Fletcher RL & ME Callow. 1992.** The settlement, attachment and establishment of marine algal spores. British Phycological Journal 27: 303-329.
- Flores D, J Zavala, S Donayre, A Guardia & H Sarmiento. 2015.** Evaluación poblacional de *Chondracanthus chamissoi* (C. Agardh, 1820) en las bahías de Pisco y Paracas, otoño 2010. Informe, Instituto del Mar del Perú 42: 504-509.
- Gonzalez J & I Meneses. 1996.** Differences in the early stages of development of gametophytes and tetrasporophytes of *Chondracanthus chamissoi* (C. Ag.) Kützting from Puerto Aldea, northern Chile. Aquaculture 143: 91-107.
- Hayashi L, C Bulboa, P Kradolfer, G Soriano & D Robledo. 2014.** Cultivation of red seaweeds: a Latin American perspective. Journal of Applied Phycology 26: 719-727.

- Hughes MH, KM Michetti & PI Leonardi. 2018.** Spore release and germling development on different substrates in the carrageenophyte *Sarcothalia crispata* from the southwestern Atlantic coast. *Journal of Applied Phycology* 31: 1285-1295.
- Kawachi M & M-H Noël. 2005.** Sterilization and sterile technique. In: Andersen RA (ed). *Algal culturing techniques*, pp. 65-81. Elsevier Academic Press, London.
- Li X, P Zhao, G Wang, D Li, J Wang & D Duan. 2010.** Effects of temperature and irradiance on early development of *Chondrus ocellatus* Holm (Gigartinales, Rhodophyta). *Chinese Journal of Oceanology and Limnology* 28: 508-513.
- Luo MB, F Liu & ZL Xu. 2012.** Growth and nutrient uptake capacity of two co-occurring species, *Ulva prolifera* and *Ulva linza*. *Aquatic Botany* 100: 18-24.
- Maggs CA & ME Callow. 2003.** Algal spores. In: *Encyclopedia of Life Sciences - eLS*, pp. 1-6. Wiley, Chichester. <<https://onlinelibrary-wiley-com.bibliotecadigital.uv.cl/doi/10.1038/npg.els.0000311>>
- Miranda G, NS Yokoya & MT Fujii. 2012.** Effects of temperature, salinity and irradiance on carposporeling development of *Hidropuntia caudata* (Gracilariales, Rhodophyta). *Revista Brasileira de Farmacognosia* 22: 818-824.
- Norris JN, LE Rosas & FF Pedroche. 2017.** Conspectus of the benthic marine algae of the Gulf of California: Rhodophyta, Phaeophyceae, and Chlorophyta. *Smithsonian Contributions to Botany* 106: 1-125.
- Orduña-Rojas J & D Robledo. 1999.** Effects of irradiance and temperature on the release and growth of carpospores from *Gracilaria cornea* J. Agardh (Gracilariales, Rhodophyta). *Botanica Marina* 42: 315-319.
- Pacheco-Ruiz I, Z García-Esquivel & LE Aguilar-Rosas. 1989.** Spore discharge in the carrageenophyte *Gigartina canaliculata* Harvey (Rhodophyta, Gigartinales). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 126: 293-299.
- Pacheco-Ruiz I, JA Zertuche-González & J Espinoza-Avalos. 2005.** The role of secondary attachment discs in the survival of *Chondracanthus squarulosus* (Gigartinales, Rhodophyta). *Phycologia* 44: 629-631.
- Pacheco-Ruiz I, A Cabello-Pasini, JA Zertuche-González, S Murray, J Espinoza-Avalos & M Dreyfus-Leon. 2011.** Carpospore and tetraspore release and survival in *Chondracanthus squarulosus* (Rhodophyta: Gigartinales) from the Gulf of California. *Botanica Marina* 54: 127-134.
- Pedroche FF & A Senties. 2020.** Diversidad de macroalgas marinas en México. Una actualización florística y nomenclatural. *Cymbella* 6(1): 4-55.
- PRODUCE. 2021.** Anuario estadístico pesquero y acuícola 2021, 181 pp. Oficina General de Evaluación de Impacto y Estudios Económicos, Ministerio de la Producción, Lima.
- Rafik B. 2016.** Influence of irradiance and salinity on the growth of carposporelings and juvenile tetrasporophytes in *Gracilaria gracilis* (Stackhouse) M. Steentoft, L. M. Irvine & W.F. Farnham (Rhodophyta; Rhodophyceae; Gracilariales) and agar yield. *Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer* 43: 141-150.
- Rebours C, E Marinho-Soriano, JA Zertuche-González, L Hayashi, J Vásquez, P Kradolfer, G Soriano, R Ugarte, M Abreu & I Bay-Larsen. 2014.** Seaweeds: an opportunity for wealth and sustainable livelihood for coastal communities. *Journal of Applied Phycology* 26: 1939-1951.
- Riofrio O. 2003.** Efecto de la variabilidad térmica sobre la biología vegetativa y reproductiva de *Chondracanthus chamissoi* (C. Agardh) Kützing (Rhodophyta) en la bahía de Ancón, Perú. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, 41 pp. <https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/tesis/basic/Riofrio_VO/Contenido.htm>
- Salas N, C Córdova & E Estrada. 2008.** Obtención de κ -Carragenano y λ -Carragenano a partir de macroalga *Chondracanthus chamissoi* y su aplicación en la industria alimentaria. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química* 11: 61-70.
- Scheirer J, W Ray & N Hare. 1976.** The analysis of ranked data derived from completely randomized factorial designs. *Biometrics* 32: 429-434.
- Silva PC, PW Basson & RL Moe. 1996.** Catalogue of the benthic marine algae of the Indian Ocean, 1259 pp. University of California Press, London.
- Tarazona J, A Indacochea, S Valle, C Cordoba, N Ochoa & W Serrano. 1999.** Impacto de "El Niño 1997-98" sobre el ecosistema marino somero de la costa central del Perú. *Revista Peruana de Biología* 6: 18-31.
- Vásquez JA & JM Vega. 2001.** *Chondracanthus chamissoi* (Rhodophyta, Gigartinales) in northern Chile: Ecological aspects for management of wild populations. *Journal of Applied Phycology* 13: 267-277.
- Wernberg T, M Thomsen, F Tuya, G Kendrick, P Staehr & B Toohey. 2010.** Decreasing resilience of kelp beds along a latitudinal temperature gradient: potential implications for a warmer future. *Ecology Letters* 13(6): 685-694.
- Yang MY, EC Macaya & MS Kim. 2015.** Molecular evidence for verifying the distribution of *Chondracanthus chamissoi* and *C. teedei* (Gigartinales, Rhodophyta). *Botanica Marina* 58: 103-113.
- Yeh H, M Lee, MJH Libatique & Z-H Liao. 2019.** The effects of seawater temperature and irradiance on the sexual reproduction of *Sargassum ilicifolium* (Sargassaceae, Phaeophyta). *Journal of Applied Phycology* 32: 661-670.
- Yu C-H, P-E Lim & S-M Phang. 2013.** Effects of irradiance and salinity on the growth of carpospore-derived tetrasporophytes of *Gracilaria edulis* and *Gracilaria tenuistipitata* var *liui* (Rhodophyta). *Journal of Applied Phycology* 25: 787-794.
- Zhao F, Z Zhao & J Liu. 2014.** Effects of temperature on the early development of carpospores of *Ahnfeltiopsis flabelliformis* (Gigartinales, Rhodophyta). *Algological Studies* 145/146: 181-193.

Recibido el 13 de enero 2022

Aceptado el 17 de mayo 2023